

Решена система с помощью явной конечно-разностной схемы [2]. Также выполнена оценка коэффициентов при неизвестных значениях параметров, соответствующих реальной мембранной установке. Установлено, что все слагаемые в системе уравнений имеют сопоставимый порядок, оказывают вклад в решение задачи, из-за чего мы не можем ни одним из них пренебречь.

Получили распределение концентрации: внутри мембраны возрастает концентрация азота, а снаружи возрастает концентрация кислорода. Таким образом осуществляется процесс разделения воздуха в мембране. Распределение концентрации позволяет определить координату, где наиболее эффективен отбор кислорода.

Список публикаций:

[1] И.Н. Бекман. Мембраны в медицине. М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2010. 325 с.

[2] А.А. Самарский. Введение в численные методы. М.: Наука, 1982. 269 с.

Режимы электроконвекции в маломодовой модели при низких и высоких частотах электрического поля

Ильин Владимир Алексеевич

Пермский государственный национальный исследовательский университет

ilin1@psu.ru

Движение слабопроводящих жидкостей в электрическом поле привлекает внимание тем, что представляет собой способ прямого преобразования энергии электрического поля в энергию движения жидкой среды [1–3]. Поведение гидродинамических систем в электрическом поле имеет ряд особенностей, связанных с характером возникновения заряда в жидкости и взаимодействием его с внешним полем. Электрическое поле может привести к резонансным явлениям, связанным с резким понижением порога конвекции, усилением или ослаблением её интенсивности. С практической точки зрения знание законов действия электрического поля на конвективные течения актуально в связи с проблемой эффективного управления конвекцией, тепло- и массопереносом в различных технологических ситуациях, в частности, в электрогидродинамических насосах.

Основоположителем электрогидродинамики в нашей стране принято считать Г. А. Остроумова [1]. На сегодняшний день вопросами электрогидродинамики занимается множество исследователей. Несмотря на большое количество теоретических и экспериментальных работ в этой области вплоть до настоящего времени объяснение электрогидродинамических эффектов недостаточно изучено, что порождает необходимость их дальнейшего изучения [3]. Непредсказуемость этих эффектов обусловлена нелинейным и сложным характером физико-химических процессов, что вызывает трудности их исследования.

В настоящей работе рассматривается действие электрокондуктивного механизма зарядообразования, вызванного зависимостью электропроводности жидкости от температуры. Считается, что границы конденсатора идеально тепло- и электропроводны, и нагреты до разной температуры. При рассмотрении поведения слабопроводящей жидкости в электрическом поле использовалось электрогидродинамическое приближение, в котором магнитные эффекты пренебрежимо малы по сравнению с электрическими.

В работе [4] получена восьмимодовая модель электроконвекции слабопроводящей жидкости, находящейся в переменном электрическом поле горизонтального слоя со свободными граничными условиями. В случае, когда время релаксации заряда много меньше характерного гидродинамического времени (заряд мгновенно рассасывается в жидкости), получается пятимодовая модель электроконвекции. Настоящая работа является продолжением исследований [4].

Параметры жидкости при исследовании случая невесомости выбраны следующие [4]: $Pr = 100$; волновое число $k = 0.962$, соответствующее минимуму нейтральной кривой, даёт значения геометрических параметров: $b = 2.077$, $d = 2.56$. Система уравнений решалась численно методом Рунге-Кутты с постоянными начальными условиями или методом продолжения по параметру для различных значений электрического параметра e и частоты электрического поля ν .

Первая часть исследования проведена для низких частот электрического поля. Вначале вычисления были проведены с постоянными начальными условиями. Например, при $\nu = 0.05$ ниже критического значения электрического числа жидкость находится в равновесии, а при $e = 67.81$ колебательным образом возникает конвекция и устанавливается периодический режим движения жидкости. Колебания состоят из отдельных «всплесков». Все частоты Фурье-спектра являются комбинацией внешней частоты и могут быть обобщены формулой: $(2n+1)\nu$, где n – целое число. Т. е. в спектре содержится частота внешнего поля и её нечётные гармоники. Это синхронные колебания. С ростом электрического параметра амплитуда синхронного режима растёт, затем он исчезает и устанавливается равновесие. При $e =$

69.38 возникает синхронный режим второго типа, в его спектре содержатся чётные гармоники внешней частоты: $2n\nu$. Затем в некотором интервале параметров существует периодический режим, в спектре которого присутствует частота, равная половине внешней частоты, и её нечётные гармоники – это субгармонический режим. Вычисления с постоянными начальными условиями показали, что этот режим переходит в синхронный режим 2 типа.

При дальнейшем увеличении электрического параметра происходит бифуркация удвоения периода – возникает частота в два раза меньше, затем происходит ещё одно удвоение и так происходит до тех пор, пока не возникнет хаос. Это сценарий Фейгенбаума – переход к хаосу через последовательность бифуркаций удвоения периода. При $e = 69.87$ происходит переход к хаосу, при котором спектр Фурье становится сплошным.

После расчётов методом продолжения по параметру были обнаружены гистерезисные переходы между тремя режимами. Оказалось, что первый синхронный режим продолжает существовать при больших значениях параметра e . Затем он переходит к хаотическому режиму через перемежаемость.

В интервале параметров электрического числа от 67.81 до 68.58 существует только 1 режим, от 68.59 до 69.37 конкурируют 1 режим и равновесие, от 69.38 до 69.56 сосуществуют режим 1 и 2. В интервале от 69.57 до 69.61 конкурируют 3 режима: два синхронных (1 и 2 режимы) и один субгармонический (3 режим). Переход к хаосу в 3 субгармоническом режиме происходит при $e = 69.607$ по сценарию Фейгенбаума. В интервале от 69.62 до 69.94 конкурируют 1 и 2 синхронные режимы. При 69.95 режим 2 переходит в режим 1.

Вторая часть исследования проведена для относительно высоких частот электрического поля. В этом случае картина поведения меняется. При расчётах с разными частотами были обнаружены различные области с субгармоническим поведением. Подробнее была исследована область, в которой частоты подчиняются закономерности: $\nu_n = \nu_0(2n-1)/2$, где n – целое число. Т. е. в спектре содержится частота равная половине внешней частоты и её высшие гармоники.

При частоте, например, $\nu = 5$ на границе устойчивости конвекция возникает квазипериодическим образом, затем квазипериодический режим колебаний сменяется субгармоническим режимом колебаний, который сменяется квазипериодическим режимом, а затем возникает хаос через квазипериодичность. При другой частоте при переходе из субгармонических колебаний хаос возникает через перемежаемость.

Список публикаций:

- [1] Остроумов Г. А. *Взаимодействие электрических и гидродинамических полей*. М.: Физматгиз. 1972. 292 с.
- [2] Болога М. К., Гросу Ф. П., Кожухарь И. А. *Электроконвекция и теплообмен*. Кишинев: Штиинца, 1977. 320 с.
- [3] Жакин А. И. *Электрогидродинамика*// УФН. 2012. Том 182, №5. С. 495–520.
- [4] Картавых Н. Н., Смородин Б. Л., Ильин В. А. *Параметрическая электроконвекция слабопроводящей жидкости в горизонтальном плоском конденсаторе*// Журнал экспериментальной и теоретической физики. 2015. Т. 148, вып. 1 (7). С. 178–189.

Моделирование расформирования нефтяной оторочки в условиях первоочередной разработки газовой шапки

Кряжев Всеволод Александрович

Кряжев Ярослав Александрович

Тюменский государственный университет

Шевелев Александр Павлович, к.ф.-м.н.

Kryazhev_seva@mail.ru

В настоящее время нефтегазодобывающий комплекс находится на стадии активного вовлечения в разработку таких трудно извлекаемых запасов нефти, как запасы нефтяных оторочек (НО) газоконденсатных залежей.

Для достижения максимальных коэффициентов извлечения нефти, в мировой практике считается целесообразным в первую очередь вести разработку нефтяной оторочки с временной консервацией запасов газа ГШ. [1] Однако в случае значительного преобладания запасов газа газовой шапки (ГШ) над запасами нефти НО стратегия разработки залежи нефтегазодобывающих компаний зачастую направляется в сторону первоочередной разработки газовой части залежи, а разработка нефтяной оторочки откладывается на более поздние сроки. Как правило, разработка газовой части осуществляется на режиме истощения пластовой энергии, что приводит к снижению пластового давления в залежи, уменьшению энергетического потенциала нефтяной оторочки, а также к фильтрации нефти в газовую часть. Такая нефть частично становится неподвижной. [2]. Таким образом происходит расформирование нефтяной оторочки и возникают пластовые потери нефти. Исходя